

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭64-40899

⑬ Int.Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和64年(1989)2月13日

G 10 L 9/18

E-8622-5D

審査請求 未請求 請求項の数 7 (全14頁)

⑮ 発明の名称 仮想サーチを用いたコード励振線形予測ボコーダ

⑯ 特 願 昭63-155116

⑰ 出 願 昭63(1988)6月24日

優先権主張 ⑱ 1987年6月26日 ⑲ 米国(US) ⑳ 067,650

㉑ 発 明 者 リチャード ハリー アメリカ合衆国 60187 イリノイズ、ホイートン、ブラ
ケッチュム イマウス コート 1754シー

㉒ 発 明 者 ウイレム バスチアア アメリカ合衆国 60510 イリノイズ、バタヴィア、ノー
ン クレイジン ス ヴァン ノートウィック 238

㉓ 発 明 者 ダニエル ジョン ク アメリカ合衆国 60139 イリノイズ、グレンデール ハ
ラシンスキー イツ フェアウェイ ドライブ 1407

㉔ 出 願 人 アメリカン テレフォ アメリカ合衆国 10022 ニューヨーク、ニューヨーク、
ン アンド テレグラ マディソン アヴェニュー 550
フ カムパニー

㉕ 代 理 人 弁理士 岡部 正夫 外3名

明 細 書

1. 発明の名称 仮想サーチを用いたコード励振
線形予測ボコーダ

2. 特許請求の範囲

1. デコーダに送信の後に再生されるように音
声を符号化するための方法において、該音声
が複数のフレームから成り、個々のフレームが複
数のサンプルをもつ音声ベクトルによって表わ
され、該方法が：

該現音声ベクトルに回答して目標励振ベクト
ルを計算するステップ(102)；

該目標励振ベクトルをもつオーバーラッピング
テーブル内に格納された複数の候補励振ベクト
ルの個々に対して、エラー値をグループの該
候補音声ベクトルの個々の第1の部分の該グル
ープの候補励振ベクトルの第2の部分の所に反
復することによって計算しこれによって音声遷
移、例えば、該音声の有声領域と無声領域との
間の遷移を補正するステップ(106、104)
；及び

現音声ベクトルに対する音声の再生のために
該テーブル内の最も小さなエラー値をもつもの
として選択された候補励振ベクトルの位置を定
義する情報及び該フィルタ係数を送出するステ
ップ(109)。

2. 該計算ステップがさらに：

サンプルのアレイを該テーブル内に格納する
ステップ(104)；

該現音声ベクトル内のサンプルの数に等しい
ウィンドウをシフトし該候補励振ベクトルの個
々を生成し、これによって該アレイ内にサンプ
ルを持たない該グループの個々に対して該グル
ープの候補励振ベクトルを生成して該グループ
の該励振ベクトルの個々の第2の部分を満たす
ステップ(801)；及び

該グループの該候補励振ベクトルの個々の該
第1の部分の該候補励振ベクトルの個々の中の
該第2の部分に反復し該グループの候補励振ベ
クトルの個々を充結するステップ(802)を
含むことを特徴とする請求項1記載の方法。

3. 該グループの候補動振ベクトル内に含まれる以外の候補動振ベクトルが全部該テーブルから順にアクセスされたサンプルにて満たされることを特徴とする請求項2記載の方法。

4. 計算ステップがさらに:

該目標動振ベクトル及び選択された動振ベクトルからテンポラリー動振ベクトルを計算するステップ;

該音声ベクトルの現ベクトルの1つにตอบสนองしてセットのフィルタ係数を計算するステップ(101);

該現音声ベクトルに対する該フィルタ係数に基づいて有限インパルス応答フィルタを生成するためにトエプリッツ(Toeplitz)形式のスペクトル重み付けマトリクスを計算するステップ(103);

該テンポラリー動振ベクトル、該スペクトル重み付けマトリクス及び別のオーバーラッピングテーブル内に格納された複数の他の候補音声ベクトルの個々に対応して相互相関値を計算する

ステップ(711);

該テンポラリー動振ベクトル、該スペクトル重み付けマトリクス及び該他の候補動振ベクトルの個々に対応して該他の候補動振ベクトルの個々に対するエネルギー値を反復的に計算するステップ(709);

個々の該相互相関及び該他の候補動振ベクトルの個々に対するエネルギー値にตอบสนองして該他の候補動振ベクトルの個々に対するエラー値を計算するステップ(706);及び

最も小さなエラー値をもつ他の候補動振ベクトルを選択するステップ(714)を含み;

該送出ステップがさらに該現音声ベクトルに対する該音声再生するために該他のテーブル内の該選択された他の候補動振ベクトルの位置を送出するステップを含むことを特徴とする請求項3記載の方法。

5. デコードに送信の後に再生されるように音声を符号化するための装置において、該音声個々が複数のサンプルをもつ複数のフレームか

ら成り、該装置が:

該フレームの現在の1つをもつオーバーラッピングテーブル内に格納された複数の候補動振ベクトルをサーチして該現フレームに最も一致する動振情報の候補セットを決定し、動振情報のグループの該候補セットの第1の部分を動振情報の該グループの候補セットの個々の第2の部分の所に反復することにより音声運移、例えば、該音声の有声領域と無声領域との間の運移の際のマッチングの量を補正するための手段(106、104);及び

該デコードによる該現フレームに対する該音声の再生のために該テーブル内の動振情報の最もマッチした候補セットを同定する情報を送出するための手段(109)を含むことを特徴とする装置。

6. 該サーチ手段がさらに:

動振情報の該候補セットをサンプルの線形アレイとして該テーブル内に格納するための手段(104);

動振情報の個々の候補セット内のサンプルの数に等しいウィンドウをシフトし、動振情報の個々の候補セットを生成し、これによって該アレイ内にサンプルを持たない該グループの個々に対して動振情報の該グループの該候補セットの動振情報の候補セットを生成し、該グループの動振情報の動振情報の該候補セットの個々の第2の分を満たすための手段(801);及び

動振情報の該グループの候補セットの個々の該第1の部分を動振情報の該グループの候補セットの個々の第2の部分に反復し、動振情報の該グループの候補セットの個々を完結するための手段(802)を含むことを特徴とする請求項5記載の装置。

7. 該サーチ手段がさらに音声の該フレームの現在の1つにตอบสนองしてセットのフィルタ係数を計算するための手段;

該セットのフィルタ係数から有限インパルス応答フィルタを要する情報を計算するための手段(103);

励振情報の候補セットの個々の中の有限インパルス応答フィルタ情報及び励振情報の候目標セットに回答して該テーブル内に格納された励振情報の候複数の候補セットの個々に対するエラー値を反復的に計算するための手段

(708、709、710、711、712)

：及び

励振情報の候候補セットの最も小さなエラー値をもつ最良の1つを選択するための手段

(714)を含むことを特徴とする請求項7記載の装置。

よって定義される。LPCフィルタを決定するために入力音声に関してLPC分析が遂行される。この分析は最初にLPCフィルタを得るために音声フレームに関してLPC分析を行なうことによって遂行され、次にこのフィルタがコードブック内のさまざまな候補ベクトルによって励振される。最良の候補がこの対応する合成出力が入力音声といかに一致するかに基づいて選択される。最良の候補が見つけれたら、最良のコードブック エントリーを定義する情報及びフィルタがシンセサイザに送られる。シンセサイザは類似のコードブックをもち、そのコードブック内の指定されるエントリーにアクセスし、これを用いて同じLPCフィルタを励振する。これに加えて、これはコードブックを音声に適応させるために最良の候補励振ベクトルを用いてコードブックを更新する。

この方法の問題点はコードブックが、例えば、音声の無声領域から有声領域の音声の遷移の際に非常にゆっくりと適応することである。音声の有声領域は音声内に基本振動数が存在することを特

3. 発明の詳細な説明

(技術分野)

本発明は音声の低ビット速度符号化及び復号、より詳細には、高い性能を与える改良された符号励振線形ボコードに関する。

(発明の背景)

コード励振線形予測符号化 (code excited linear predictive coding、CELP) は周知の技術である。この符号化技術は音声を線形予測 (linear predictive、LPC) フィルタを励振するのに符号化された励振情報を用いて合成する。この励振は候補励振ベクトルのテーブルを1フレーム毎に換することによって見つけられる。コードブックとも呼ばれるこのテーブルはその要素が一続きの励振サンプルであるベクトルから構成される。個々のベクトルは1つのフレーム内に存在する音声サンプルと同数の励振サンプルを含む。このコードブックはオーバーラッピング テーブルとして構成され、励振ベクトルは励振サンプルの線形アレイに沿ってウィンドウをシフトすることに

限とする。この問題は、特に女性に顕著であり、これは女性によって生成される基本振動数が男性のものより高いためである。

(発明の概要)

この問題の解決及び技術上の向上が、例えば、音声の無声領域から有声領域への遷移のような音声遷移の間の応答を向上させるために候補励振ベクトルを含むコードブックの仮想サーチを用いるボコードによって達成される。本発明による方法は、音声をフレームにグループ化するステップ、現フレームのサンプルとテーブル内に格納された励振情報の候補セットとを現音声に最もマッチする候補セットを決定するために個々のグループの候補セットの第1の部分の情報と該グループの候補セットの個々の第2の部分に反復的に加えることによって比較するステップ、このテーブル内の最もマッチする候補セットの位置を決定するステップ、及びデコードによるこの音声の再生のためにこの位置情報を送出するステップを含む。

この比較ステップは、励振情報の候補セットを

サンプルの線形アレイとしてテーブル内に格納するステップ、個々の候補セット内のサンプルの数に等しいウィンドウをこのアレイを通じてシフトして励振情報の候補セットを生成し、その中に十分なサンプルが存在しないグループに対する線形アレイの終端に向かってグループの候補セットを生成し、このグループの候補セットの第2の部分を選択するステップ、及びグループの個々の候補セットの第1の部分とそのグループの個々の第2の部分内に反復して加えることによってグループの個々を完結するステップを含む。また、ウィンドウをそのグループの部分以外の線形アレイを通じてシフトすることによって得られる他の候補セットは全部このテーブルからの順次サンプルにて満たされる。

この比較ステップはさらに音声の現フレームに回答して励振情報の目標セットを生成するステップ、目標セット及び励振情報の最もマッチしたセットから励振情報のテンポラリーセットを計算するステップ、励振情報のテンポラリーセット

をもつ別の候補セットに対する別のテーブルをサーチしてこの別のテーブルからこのテンポラリー励振セットに最もマッチする候補セットを決定するステップ、この別のテーブル内の最もマッチする候補セットの別の位置を決定するステップを含み、送出ステップがさらに音声の再生のためにこの別の位置情報を送出するステップを含む。

これに加えて、比較ステップはさらに、現音声フレームに回答してフィルタ係数を決定するステップ、セットのフィルタ係数から有限インパルス応答フィルタ情報を計算するステップ、有限インパルス応答フィルタ情報及び励振情報の目標セットに回答してテーブル内に格納された候補セットの個々に対するエラー値を反復的に計算するステップ、及びそれが最も小さなエラー値をもつことに基づいて最良の候補セットを選択するステップを含む。また、送出ステップはさらに音声の再生のためにフィルタ係数を送出するステップを含む。

本発明の装置はテーブル内の励振情報の複数の候補セットを通じて音声の現フレームに対するサ

ンプルに最もマッチする候補セットをグループの候補セットの個々のセットの第1の部分とそのグループの個々の候補セットの第2の部分に反復的に加えることにより決定するためのサーチ回路を含む。さらに、この装置はデコードによる音声の再生のためにテーブル内の最もマッチする候補セットの位置を同定する情報を送出するためのエンコードを含む。

(実施例)

第1図は本発明の主題であるボコーダ(vocoder)をブロック図形式にて示す。要素101から112はボコーダのアナライザ部分を示し、一方、要素151から157はボコーダのシンセサイザ部分を表わす。第1図のアナライザ部分は経路120上に受信された入り音声に回答してアナログ音声をデジタルサンプルにデジタル的にサンプリングし、これらデジタルサンプルを周知の技術を用いてフレームにグループ化する。個々のフレームに対して、アナライザ部分は声帯のフォーマント特性を変わすLPC係数を計算

し、そのフレームに対する音声を最も良く近似する確率的コードブック105及び適応コードブック104の両方からのエントリーをスケール係数とともに探す。このエントリー及びスケール係数情報はアナライザ部分によって決定される励振情報を定義する。この励振及び係数情報が次にエンコード109によって経路145を介して第1図に示されるボコーダのアナライザ部分に送られる。確率的発生器153及び適応的発生器154はコードブックエントリー及びスケール係数に回答して、ボコーダのアナライザ部分内で計算された励振情報を再生し、この励振情報を用いてアナライザ部分から受信されるLPC係数によって決定されるLPCフィルタを音声を再生するために励振する。

次に、第1図のアナライザ部分の機能をより詳細に述べる。LPCアナライザ101は入り音声に回答して周知の技術を用いてLPC係数を決定する。これらLPC係数は目標励振計算器102、スペクトル重み付け計算器103、エン

コード109、LPCフィルタ110、及びゼロ入力応答フィルタ111に送られる。エンコード109は、LPC係数に回答してこれら係数を経路146を介してデコード151に送る。スペクトル重み付け計算器103はこれら係数に回答して重要な音声内容をもつことが知られている音声の部分を強調するマトリクスの形式でスペクトル重み付け情報を計算する。このスペクトル重み付け情報は有限インパルス応答LPCフィルタに基づく。この有限インパルス応答フィルタの使用はサーチャー (searcher) 106及び107内で実行される計算を進行するために必要な計算の数を大きく削減する。このスペクトル重み付け情報はサーチャーによってコードブック104及び105からの励振情報に対する最良候補を決定するために用いられる。

ターゲット励振計算器102はサーチャー106及び107が近似を試みるターゲット励振を計算する。このターゲット励振はアナライザ101によって入り信号から前のフレームに対す

順次計算する。この計算励振はコードブック インデックス及びスケーリング係数の形式でエンコード109及び経路145を介して第1図のシンセサイザ部分に送られる。個々のサーチャーは計算励振の部分計算する。第1に、適応的サーチャー106は励振情報を計算し、これを経路127を介して確率的サーチャー107に送る。サーチャー107は経路123を介して受信された目標励振及び適応的サーチャー106からの励振情報に回答して計算器102によって計算された目標励振を最も良く近似する計算励振の残りの部分を計算する。サーチャー107は計算されるべきこの残留励振 (remaining excitation) を目標励振サーチャー106によって決定される励振を引くことによって決定する。サーチャー106及び107によって決定される計算あるいは合成励振はそれぞれ経路127及び126を介して加算器108に送られる。加算器108はこの2つの励振成分を一緒に加えることによって現フレームに対する合成励振を計算する。この合成励振は

る励振及びLPCフィルタの影響を引くことによって計算されたLPC係数に基づいて重み付けフィルタを回転させることによって計算される。前のフレームに対する後者の影響はフィルタ110及び111によって計算される。前のフレームに対する励振及びLPCフィルタを考慮しなくてはならない理由は、これら係数が、通常、LPCフィルタのリングングとして知られる現フレーム内の信号成分を生成するためである。後に説明されるごとく、フィルタ110及び111はLPC係数及び前のフレームから計算された励振に回答してこのリングング信号を決定し、これを経路144を介して引き算器112に送る。引き算器112は後者の信号及び現在の音声に回答して現在の音声からこのリングング信号を引いた残留信号を計算する。計算器102はこの残留信号に回答してターゲット励振情報を計算し、この情報を経路123を介してサーチャー106及び107に送る。

サーチャーは合成励振とも呼ばれる計算励振を

シンセサイザによって合成音声を生成するために用いられる。

加算器108の出力も経路128を介してLPCフィルタ110及び適応的コードブック104に送られる。経路128を介して送られる励振情報は適応的コードブック104を更新するのに用いられるコードブック インデックス及びスケーリング係数はサーチャー106及び107からエンコード109にそれぞれ経路125及び124を介して送られる。

サーチャー106は適応的コードブック104内に格納されたセットの励振情報にアクセスし、個々のセットの情報をを用いて経路123を介して受信された目標励振とコードブック104からのアクセスされたセットの励振との間のエラー基準を最小にする。適応的コードブック104内に格納された情報は人の音声の動的レンジ内での変動を許さないため個々のアクセスされたセットの情報に対してもスケーリング係数が計算される。

用いられるエラー基準は元の音声と合成音声と

の間の差の平方である。合成音声は第1図のシンセサイザ一部分内でLPCフィルタ117の出力の所に再生される音声である。この合成音声はコードブック104から得られる合成励振及びリッピング信号から計算され、音声信号は目標励振及びリッピング信号から計算される。合成音声に対する励振情報は、マトリクスにて表現された計算器103からの重み付け情報を用いていてシンセサイザ102によってLPCフィルタのたたみ込みを遂行するのに用いられる。コードブック104から得られた個々のセットの情報に対してエラー基準が評価され、最も低いエラー値を与える励振情報のセットが現フレームに対して用いられる。

サーチャー106がスケーリング係数とともに使用されるべきセットの励振情報を決定した後、コードブックへのインデックス及びスケーリング係数が経路125を介してエンコーダ109に送られ、励振情報も経路127を介して確率的サーチャー107に送られる。確率的サーチャー

107は経路123を介して受信された目標励振から適応的サーチャー106からの励振情報を引く。確率的サーチャー107は次に適応的サーチャー106によって遂行されるのと類似の動作を遂行する。

適応的コードブック104内の励振情報は前のフレームからの励振情報である。個々のフレームに対して、この励振情報はサンプリングされた元の音声と同等のサンプルから成る。好ましくは、この励振情報は4.8 Kbps伝送速度に対して55個のサンプルを含む。このコードブックはプッシュダウンリストとして編成され、新たなセットのサンプルがコードブックの中にプッシュされコードブック内の最も古いサンプルと置換される。コードブック104からのセットの励振情報を使用する場合、サーチャー106はこれらセットの情報をばらばらなセットのサンプルとして扱うのではなく、コードブック内のサンプルを励振サンプルの線形アレイとして扱う。例えば、個々のサーチャー106は情報の第1の候補セットをコードブ

ック104からのサンプル1からサンプル55を用いて生成し、情報の第2のセットの候補をコードブックからのサンプル2からサンプル56を用いて生成する。このタイプのコードブック検索は通常オーバーラップコードブックと呼ばれる。

この線形サーチング技術がコードブック内のサンプルの終わりに達すると、使用されるべきフルセットの情報が存在しなくなる。1つのセットの情報はまた励振ベクトルとも呼ばれる。この時点で、サーチャーは仮想サーチ(virtual search)を遂行する。この仮想サーチにおいてはテーブルからアクセスされた情報がそれに対してテーブル内にサンプルが存在しないセットの後の部分に反復して入れられる。この仮想サーチ技術を用いることによって、適応的サーチャー106が音声の無声領域(unvoiced region)から音声の有声領域(voiced region)への遷移により迅速にตอบสนองすることが可能となる。これは無声領域内では励振がホワイトノイズに類似し、一方、有声領域内では基本振動数が存在するためである。いったん基

本振動数の部分がコードブックから同定されると、これが反復される。

第2図はコードブック104内に格納されるであろう励振サンプルの一部を示すが、ここでは、説明の目的上、励振セット当たり10個のみのサンプルが想定される。ライン201はコードブックの内容を図解し、ライン202、203及び204は仮想サーチ技術を用いて生成された励振セットを図解する。ライン202に示される励振セットはコードブックのサーチをライン201上のサンプル205から開始することによって生成される。サンプル205から開始すると、テーブル内には9個のみのサンプルが存在し、従ってサンプル208がライン202に示される励振セットの10番目のサンプルを形成するためにサンプル209として反復される。ライン202のサンプル208はライン201のサンプル205に対応する。ライン203はライン201上のサンプル206から開始して生成されたライン202に示される励振セットに続くセットを図解する。サ

サンプル206から開始すると、コードブック内には8個のみのサンプルが存在し、サンプル210としてグループ化されたライン203の最初の2つのサンプルがライン203にサンプル211として示される励振セットの終端に反復される。ライン203に示される有効ピークがピッチピークである場合は、このピッチがサンプル210及び211内で反復されることは当業者によって容易に理解できることである。ライン204はコードブック内のサンプル207から開始して生成された第3の励振セットを図解する。図解されるごとく、212として示される3つのサンプルがライン204上に示される励振セットの終端にサンプル213として反復される。ライン201内に207として示される初期ピッチピークは、個々のフレームの終わりにコードブック104の内容が更新されるため、前のフレームからサーチャー106及び107によって遂行されるサーチの累積であることに注意する。統計的サーチャー107は、通常は、無声領域から有声領域に入る

によって変えられるこのフィルタの構造は後に詳細に説明され、本発明の目的の一部を構成する。ベクトル z は前のフレームの最中に受信された励振からのオールポールフィルタのリングングを表現する。前述のごとく、ベクトル z はLPCフィルタ110及びゼロ入力応答フィルタ111から派生される。計算器102及び引き算器112は目標励振を変えずベクトル l をベクトル z からベクトル x を引く、この結果としての信号ベクトルをオールゼロLPC合成フィルタ(all-zero LPC合成フィルタ)を通じて処理する。このオールゼロ合成フィルタはLPCアナライザ101によって生成されたLPC係数から派生され、経路121を介して送られる。目標励振ベクトル l は、重み付けフィルタとも呼ばれるオールゼロLPC合成フィルタのたたみ込み演算(convolution operation)を遂行することによって得られ、整信号は元の音声からリングングを引くことによって発見される。このたたみ込みは周知の信号処理技術を用いて遂行される。

と同時に最初にピッチピーク、例えば、207に到達する。

確率的サーチャー107は適応的サーチャー106と類似の機能をもつが、これが目標励振として、目標励振計算器102からの目標励振とサーチャー106によって発見された最良マッチを代表する励振との間の差を用いる点が異なる。これに加えて、サーチャー107は仮想サーチは遂行しない。

次に第1図のアナライザ部分の詳細な説明を行なう。この説明はマトリクス及びベクトル代数に基づく。目標励振計算器102は目標励振ベクトル l を以下のように計算する。音声ベクトル s は以下のように変換することができる。

$$s = Hl + z$$

HマトリクスはLPCアナライザ101を介して経路121から受信されるLPC係数によって定義されるオールポールLPC合成フィルタ(all-pole LPC合成フィルタ)を表わす。Hに

適応的サーチャー106は目標励振ベクトル l に最もマッチする候補励振ベクトル r を見つけるために適応的コードブック104をサーチする。ベクトル r はまたセットの励振情報とも呼ばれる。最良のマッチを決定するために用いられるエラー基準は元の音声と合成音声の間の差の平方である。元の音声はベクトル s によって与えられ、合成音声は以下の式によって計算されるベクトル y によって与えられる。

$$y = H L_1 r_1 + z$$

ここで、 L_1 はスケーリング係数である。このエラー基準は以下の形式によって書き表わすことができる。

$$e = (Hl + z - H L_1 r_1 - z)^T (Hl + z - H L_1 r_1 - z) \quad (1)$$

このエラー基準においては、Hマトリクスが感度的に重要なスペクトルのセクションを強調するように修正される。これは周知のポールバンド幅ワインディング技術(pole-bandwidth winding

technique)を用いて達成される。式(1)は以下の形式に書き直すことができる。

$$e = (I - L_i r_i)^T H^T H (I - L_i r_i). \quad (2)$$

式(2)はさらに以下のように整理することができる。

$$e = I^T H^T H I + L_i r_i^T H^T H L_i r_i - 2 L_i r_i^T H^T H I. \quad (3)$$

式(3)の第1の項は任意のフレームに対してコンスタントであり、コードブック104からのどの r_i ベクトルを用いるかの決定においてエラーの計算から落とされる。コードブック104内の r_i 励振ベクトルの個々に対して、式(3)を解き、エラー基準 e を最も低い値の e をもつ r_i ベクトルが選択されるように決定すべきである。式(3)を解く前に、スケーリング係数 l_i を決定することが必要である。これは l_i に対して部分導関数 (partial derivative) を取り、これをゼロにセットすることによって簡単に運行でき、これは以下の式を与える。

$$l_i = \frac{r_i^T H^T H I}{r_i^T H^T H r_i} \quad (4)$$

いられる無限インパルス応答LPCフィルタのかわりに有限インパルス応答LPCフィルタを用いることによって達成する。コンスタントの応答長をもつ有限インパルス応答フィルタは先行技術によるのとは異なる対称性をもつHマトリクスを与える。Hマトリクスはマトリクス表現で有限インパルス応答フィルタの演算を表わす。フィルタが有限インパルス応答フィルタであるため、このフィルタと個々のベクトル r_i によって表わされる励振情報のたたみ込みはサンプルのR番号によって表わされる有限数の応答サンプルを生成するベクトル r_i の個々のサンプルを与える。たたみ込み演算である $H r_i$ 計算のマトリクスベクトル演算が運行されると、候補ベクトル r_i 内の個々のサンプルからの全てのR応答ポイントが1つに総和され、合成音声のフレームが生成される。

有限インパルス応答フィルタを表わすHマトリクスは $N+R \times N$ マトリクスであり、ここで、Nはサンプル内のフレーム長を表わし、そしてRは複数のサンプル内の切捨てインパルス応答の長さ

式(4)の分子は、通常、相互相関項と呼ばれ、分母はエネルギー項と呼ばれる。このエネルギー項は相互相関項より多くの計算を必要とする。この理由は相互相関項では1つのベクトルを得るために1フレーム当たり最後の3つの要素の積のみの計算が要求され、次に個々の新たなベクトル r_i に対して、単に移項(トランスポーズ)された候補ベクトルとこの相互相関項の最後の3つの要素の計算結果としてのコンスタントベクトルとの間のドット積を取るのみが必要であるためである。

エネルギー項の場合は、最初に $H r_i$ を計算し、次にこのトランスポーズを取り、次に $H r_i$ と $H r_i$ のトランスポーズの間の内積(inner product)を取ることが要求される。これは結果として多数のマトリクス及びベクトル演算となり、多数の計算を必要とする。本発明は計算の数を削減し、結果としての合成音声を上向きさせることを目的とする。

一部、本発明はこの目的を先行技術において用

である。Hマトリクスのこの形式を用いると、応答ベクトル $H r$ は $N+R$ の長さをもつ。Hマトリクスのこの形式は以下の式(5)によって表わされる。

$$H = \begin{bmatrix} h_0 & 0 & & & 0 \\ h_1 & h_0 & & & \\ . & . & . & . & . \\ h_R & h_{R-1} & . & . & . \\ 0 & h_R & . & . & h_R \\ . & 0 & . & . & h_1 \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & h_R & h_{R-1} \\ 0 & 0 & . & 0 & h_R \end{bmatrix} \quad (5)$$

以下の式(6)にて表わされるHマトリクスのトランスポーズ(transpose)とHマトリクス自体の積を考慮する。

$$A = H^T H \quad (6)$$

式(6)はマトリクスAを与えるが、これは以下の式

(7)によって変わされるように $N \times N$ 平方対称トエプリッツ (Toeplitz) である。

$$A = \begin{bmatrix} A_0 & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ A_1 & A_0 & A_1 & A_2 & A_3 \\ A_2 & A_1 & A_0 & A_1 & A_2 \\ A_3 & A_2 & A_1 & A_0 & A_1 \\ A_4 & A_3 & A_2 & A_1 & A_0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

式(7)は N が 5 のとき H^*H 演算から得られる A マトリクスを変わす。式(5)から R の値によってはマトリクス A 内の幾つかの要素が 0 となることわかる。例えば、 $R = 2$ の場合、要素 A_2 、 A_3 及び A_4 は 0 である。

第3図はこのベクトルが 5 つのサンプルを含む、つまり、 $N = 5$ の場合の第1の候補ベクトル r_1 に対するエネルギー項を示す。サンプル x_0 から x_4 は適応的コードブック 104 内に格納された最初の 5 つのサンプルである。第2の候補ベクトル r_2 に対する式(4)のエネルギー項の計算が第4図に示さ

れる。後者の数字は候補ベクトルのみが変わり、また変化は x_0 サンプルの削除及び x_4 サンプルの追加のみを伴うことを示す。

第3図に示されるエネルギー項の計算はスケーラー値 (scalar value) を与える。 r_1 に対するこのスケーラー値は第4図に示される候補ベクトル r_2 に対するスケーラー値と x_0 サンプルが加わり、 x_4 サンプルが削除されている点のみが異なる。有限インパルス応答フィルタの使用に起因して導入される対称性及びトエプリッツ (Toeplitz) 特性による第4図に対するスケーラー値は以下の方法にて簡単に計算できる。第1に、 x_0 サンプルからの寄与がこの寄与が第5図に示されるように簡単に決定できることを認識することにより削除される。この寄与は、これが単に項 501 と項 502 を巻きこむ掛け算及び加算演算及び項 504 と項 503 を巻き込む掛け算及び加算演算のみに基づくために削除できる。同様に、第6図は、項 x_4 の追加がこの寄与が項 601 と 602 を巻き込む演算及び項 604 と項 603 を巻き込む演算に起因

することを理解することにより、スケーラー値に加えることができることを図解する。第5図に示される項の寄与を引き、第6図に示される項の影響を加えることにより、第4図に対するエネルギー項は第3図のエネルギー項から反復計算することができる。当業者においては、反復計算のこの方法がベクトル r_1 あるいは A マトリクスのサイズと独立したものであることは明白である。この反復計算は適応的コードブック 104 あるいはコードブック 105 内に含まれる候補ベクトルを互いに比較することを可能とし、これにはコードブックから取られる個々の新たな励振ベクトルに対して第5図及び第6図に示される追加の演算のみが要求される。

より一般的には、これら反復計算は数学的に以下のように表現できる。第1に、セットのマスキング マトリクスが I_k として定義される。ここで、最後の 1 つは k 番目の列 (row) に現われる。

$$I_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & . & . & . & 0 \\ 0 & 1 & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & 1 & 0 & . \\ . & . & . & 0 & 0 & . \\ . & . & . & . & . & . \\ 0 & . & . & . & . & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

これに加えて、単位マトリクスが以下のように I として定義される。

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & . & . & . & . \\ 0 & 1 & 0 & . & . & . \\ . & 0 & 1 & 0 & . & . \\ . & . & 0 & 1 & 0 & . \\ . & . & . & 0 & 1 & 0 \\ 0 & . & . & . & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

さらに、シフティング マトリクスが以下のよう

に定義される。

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & . & . & 0 \\ 0 & 0 & 1 & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & 0 & 1 \\ 0 & . & . & . & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (00)$$

トエブリッツ (Toeplitz) マトリクスに対しては、以下の周知の定理が当てはまる。

$$S^T A S = (I - I_1) A (I - I_1) \quad (01)$$

Aあるいは $H^T H$ はトエブリッツであるため、エネルギー項に対する反復計算は以下の表記法によって表現できる。第1に、 r_{j+1} ベクトルと関連するエネルギー項を以下のように E_{j+1} と定義する。

$$E_{j+1} = r_{j+1}^T H^T H r_{j+1} \quad (02)$$

これに加えて、ベクトル r_{j+1} は新たなサンプルを含むベクトルと結合された r_j のシフトされた

ンベルス応答フィルタでなく有限インパルス応答フィルタを用いることにより、また $H^T H$ マトリクスのトエブリッツ (Toeplitz) 特性によって達成される。

式04はコードブック104の通常のサーチにおいてはエネルギー項を正しく計算する。ただし、いったん仮想サーチが開始されると、式04はもはやエネルギー項を正確に計算しなくなる。これは第2図のライン204上のサンプル213によって図解される仮想サンプルが2倍の速度で変化するためである。これに加えて、第2図のサンプル214によって図解される通常のサーチのサンプルが励振ベクトルの真ん中で変化する。この状況はコードブック内の実際のサンプル、例えば、サンプル214をベクトル w_i にて表わし、仮想セクション内のサンプル、例えば、第2図のサンプル213をベクトル v_i によって表わすことによって反復法にて解決できる。これに加えて、仮想サンプルが総励振ベクトルの半分以上に制限される。エネルギー項はこれら条件を用いて式04か

バージョンとして以下のように表わすことができる。

$$r_{j+1} = S r_j + (I - I_{m-1}) r_{j+1} \quad (03)$$

式00の定理を用いてシフトマトリクス S を削除すると、式03は以下の形式に書き直すことができる。

$$E_{j+1} = E_j + 2 \left[r_{j+1}^T (I - I_{m-1}) H^T H S r_j - r_j^T (I - I_1) H^T H I_1 r_j \right] \\ - r_j^T I_1 H^T H I_1 r_j + r_{j+1}^T (I - I_{m-1}) H^T H (I - I_{m-1}) r_{j+1} \quad (04)$$

式04から、 I 及び S マトリクスは幾つかの1を含むが0が大勢を占めるため、式04の値を求めるのに必要とされる計算の数は式03に要求される計算量より大きく低減されることが明らかである。詳細な分析を行なうと、式04の計算は $2Q + 4$ 浮動小数点の演算のみを必要とすることがわかる。ここで、 Q は数 R か数 N の小さい方のどちらかである。これは式03に要求される計算の数と比較して大きな簡素化である。この計算の簡素化は無限イ

ら以下のように書き直すことができる。

$$E_i = w_i^T H^T H w_i + 2 v_i^T H^T H w_i + v_i^T H^T H v_i \quad (05)$$

式05第1及び第3の項は以下の方法で計算的に整理できる。式05の第1の項に対する反復は以下のように書き変えることができる。

$$w_{j+1}^T H^T H w_{j+1} = w_j^T H^T H w_j - 2 w_j^T (I - I_1) H^T H I_1 w_j - w_j^T I_1 H^T H I_1 w_j \quad (06)$$

そして、 v_j と v_{j+1} の間の関係は以下のように書くことができる。

$$v_{j+1} = S^2 (I - I_{p+1}) v_j + (I - I_{m-2}) v_{j+1} \quad (07)$$

これは、式05の第3の項を以下を用いて整理することを可能とする。

$$H^T H v_{j+1} = S^2 H^T H v_j + H^T H S^2 (I - I_{p+1}) v_j \\ + (I - I_{m-2}) H^T H S^2 (I - I_{p+1}) v_j + H^T H (I - I_{m-2}) v_{j+1} \quad (08)$$

変数 p は現存の励振ベクトル内で現在用いられているコードブック104内に実際に存在するサン

ブルの数である。サンプルの数の一例が第2図のサンプル214によって与えられる。式(4)の第2の項は式(4)によって整理することができる。これは、 $v_i^* H^*$ が単にマトリクス演算の $H^* H v_i$ のトランスポーズであるためである。音楽者においては、実際のコードブック サンプルと仮想サンプルのサーチとの間ではサーチの速度が異なることは一目瞭然である。上に示される例では、仮想サンプルは実際のサンプルの2倍の速度にてサーチされる。

第7図は第1図の適応的サーチャー106をより詳細に示す。前述のごとく、適応的サーチャー106は2つのタイプのサーチ動作、つまり、仮想サーチと順次サーチの2つを遂行する。順次サーチ動作においては、サーチャー106は適応的コードブック104からの1つの完全な候補動振ベクトルにアクセスし、一方、仮想サーチにおいては、適応的サーチャー106はコードブック104からの部分候補動振ベクトルにアクセスし、コードブック104からアクセスされた候補ベク

トルの最初の部分を第2図に示されるようにこの候補動振ベクトルの後の部分に反復して入れる。仮想サーチ動作はブロック708からブロック712によって遂行され、順次サーチ動作はブロック702から706によって遂行される。サーチディタミネータ701は仮想サーチを遂行すべきか順次サーチを遂行すべきかを決定する。候補セレクト714はコードブックが完全にサーチされたか調べ、コードブックが完全にサーチされていない場合は、セレクト714は制御をサーチディタミネータ701に戻す。

サーチディタミネータ701は経路122を介して受信されるスペクトル重み付けマトリクス及び経路123を介して受信される目標動振ベクトルに回答して完全なサーチコードブック104を管理する。候補ベクトルの第1のグループは全部コードブック104から構成され、必要な計算がブロック702から706によって遂行され、候補動振ベクトルの第2のグループはブロック708から712によって扱われ、ベクトル

の部分が反復される。

候補動振の第1のグループがコードブック104からアクセスされている場合は、サーチディタミネータは目標動振ベクトル、スペクトル重み付けマトリクス、及びアクセスされるべき候補動振ベクトルのインデックスを経路727を介して順次サーチコントロール702に送る。コントロール702は候補ベクトルインデックスに回答してコードブック104にアクセスする。順次サーチコントロール702は次に目標動振ベクトル、スペクトル重み付けマトリクス、インデックス、及び候補動振ベクトルを経路728を介してブロック703及び704に送る。

ブロック704は経路728を介して受信された第1の候補動振ベクトルに回答して式(3)の $H^* H v_i$ 項に等しいテンポラリーベクトル(temporary vector)を計算し、このテンポラリーベクトル及び経路728を介して受信された情報を経路729を介して相互相関計算器705に送る。第1の候補ベクトルの後に、ブロック704は経路

728上に受信された情報を経路729に送る。計算器705は式(3)の相互相関項を計算する。

エネルギー計算器703は経路728上の情報に回答して式(4)によって示される演算を遂行することによって式(3)のエネルギー項を計算する。計算器703はこの値を経路733を介してエラー計算器706に送る。

エラー計算器706は経路730及び733を介して受信された情報に回答してエネルギー値と相互相関値を加えることによってエラー値を計算し、このエラー値を候補番号、スケーリング係数、及び候補値とともに経路730を介して候補セレクト714に送る。

候補セレクト714は経路732を介して受信された情報に回答してそのエラー値が最も低い候補の情報を保持し、経路732を介して起動されると経路731を介して制御をサーチディタミネータ701に送る。

サーチディタミネータ701が候補ベクトルの第2のグループがコードブック104からア

クセスされるべきことを知ると、これは目標動振ベクトル、スペクトル重み付けマトリクス、及び候補動振ベクトル インデックスを経路720を介して仮想サーチ コントロール708に送る。サーチ コントロール708はコードブック104にアクセスし、アクセスされたコード動振ベクトル及び経路720を介して受信された情報を経路721を介してブロック709及び710に送る。ブロック710、711及び712は、経路722及び723を介してブロック704、705及び706によって遂行されるのと同タイプの演算を遂行する。ブロック709はブロック703と同様に式(3)のエネルギー項を求める演算を遂行する。ただし、ブロック709はエネルギー計算器703の場合は式(4)を用いるのに反して式(5)を用いる。

個々の候補ベクトル インデックス、スケーリング係数、候補ベクトル、及び経路724を介して受信されるエラー値に対して、候補セクタ714は候補ベクトル、スケーリング係数、及び

最も低いエラー値をもつベクトルのインデックスを保持する。候補ベクトルの全てが処理された後、候補セクタ714は最も低いエラー値をもつ選択された候補ベクトルのインデックス及びスケーリング係数を経路125を介してエンコーダ109に送り、選択された動振ベクトルを経路127を介して加算器108、そして経路127を介して確率的サーチャー107に送る。

第8図は仮想サーチ コントロール708をより詳細に示す。適応的コードブック アクセス801は経路720を介して受信された候補インデックスに回答して、コードブック104にアクセスし、アクセスされた候補動振ベクトル及び経路720を介して受信された情報を経路803を介してサンプル リピータ802に送る。サンプル リピータ802は候補ベクトルに回答して、1つの完全な候補動振ベクトルを得るために候補ベクトルの最初の部分を候補ベクトルの最後の部分に反復して入れる。こうして得られた完全な候補動振ベクトルが次に経路721を介して第7図

のブロック709及び710に送られる。

第9図はエネルギー計算器901の式(6)によって示される演算を遂行するための動作をより詳細に示す。実際のエネルギー成分計算器901は式(6)の第1の項によって要求される演算を遂行し、この結果を経路911を介して加算器905に送る。テンポラリー仮想ベクトル計算器902は項 $\sum_{i=1}^N |v_i|^2$ を式(6)に従って計算し、この結果を経路721を介して受信された情報とともに経路910を介して計算器903及び904に送る。経路910上の情報に回答して、混合エネルギー成分計算器903は式(6)の第2の項によって要求される演算を遂行し、この結果を経路913を介して加算器905に送る。経路910上の情報に回答して、仮想エネルギー成分計算器904は式(6)の第3の項によって要求される演算を遂行する。加算器905は経路911、912、及び913上の情報に回答してエネルギー値を計算し、この値を経路726上に送る。

統計的サーチャー107は第7図に示されるブ

ロック701から706及び714と類似するブロックを含む。ただし、サーチ ディターミネータ701は経路123を介して受信された目標動振から経路127を介して受信された選択された候補動振ベクトルを引くことによって第2の目標動振ベクトルを形成する。これに加えて、常にディターミネータは制御をコントローラ702で送る。

上に説明の実施態様は単に本発明の原理を図解するものであり、本発明の精神及び範囲から逸脱することなく他の構成を設計できることは明白である。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の主題であるボコーダのアナライザ及びシンセサイザ セクションをブロック図の形式で示し；

第2図は本発明の主題である仮想サーチ技法を用いてのコードブック104からの動振ベクトルの生成をグラフ形式で示し；

第3図から第6図は最良候補ベクトルを選択す

るために用いられるベクトル及びマトリクス演算をグラフ形式で示し；

第7図は第1図の適応的サーチャー106をより詳細に示し；

第8図は第7図の仮想サーチコントロール708をより詳細に示し；そして

第9図は第7図のエネルギー計算器709をより詳細に示す。

(主要部分の符号の説明)

- 101…LPCアナライザー
- 102…目標動振計算器
- 103…スペクトル重み計算器
- 104…適応コードブック

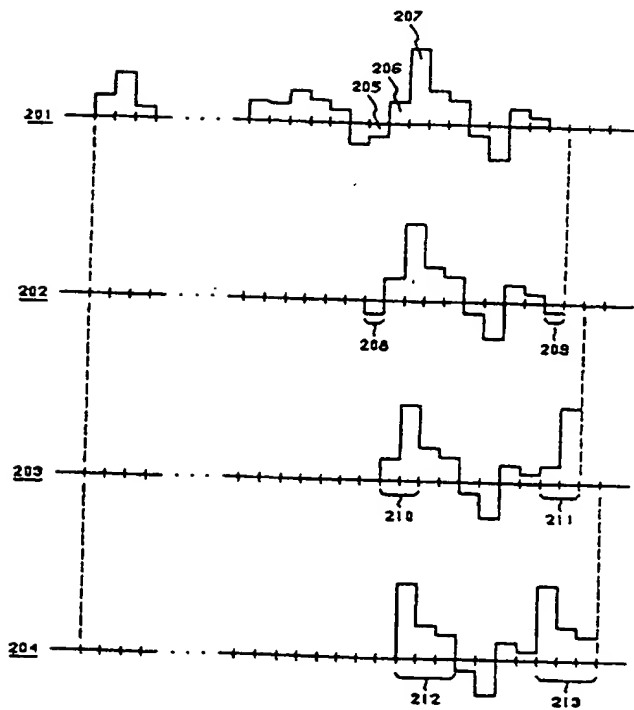


FIG. 2

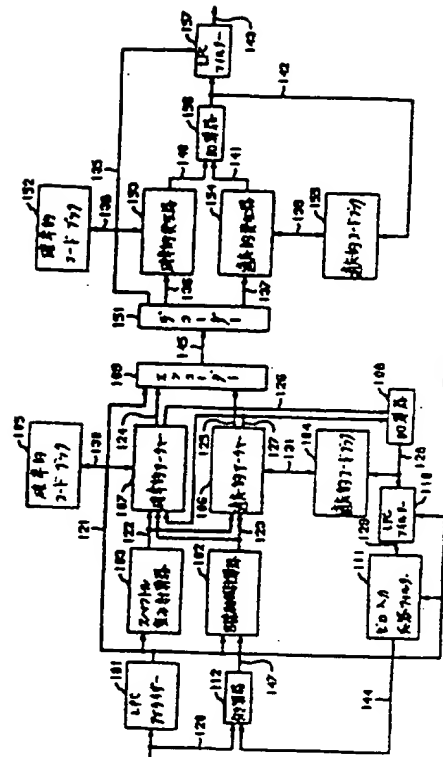


FIG. 1

$$r_1^T H^T H r_1 = \begin{bmatrix} x_0 & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_0 & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ A_1 & A_0 & A_1 & A_2 & A_3 \\ A_2 & A_1 & A_0 & A_1 & A_2 \\ A_3 & A_2 & A_1 & A_0 & A_1 \\ A_4 & A_3 & A_2 & A_1 & A_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$$

FIG. 3

$$r_2^T H^T H r_2 = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_0 & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ A_1 & A_0 & A_1 & A_2 & A_3 \\ A_2 & A_1 & A_0 & A_1 & A_2 \\ A_3 & A_2 & A_1 & A_0 & A_1 \\ A_4 & A_3 & A_2 & A_1 & A_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix}$$

FIG. 4

$$r_1^T H^T H r_1 = \begin{bmatrix} x_0 & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_0 & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ A_1 & A_0 & A_1 & A_2 & A_3 \\ A_2 & A_1 & A_0 & A_1 & A_2 \\ A_3 & A_2 & A_1 & A_0 & A_1 \\ A_4 & A_3 & A_2 & A_1 & A_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$$

FIG. 5

$$r_2^T H^T H r_2 = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_0 & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ A_1 & A_0 & A_1 & A_2 & A_3 \\ A_2 & A_1 & A_0 & A_1 & A_2 \\ A_3 & A_2 & A_1 & A_0 & A_1 \\ A_4 & A_3 & A_2 & A_1 & A_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix}$$

FIG. 6

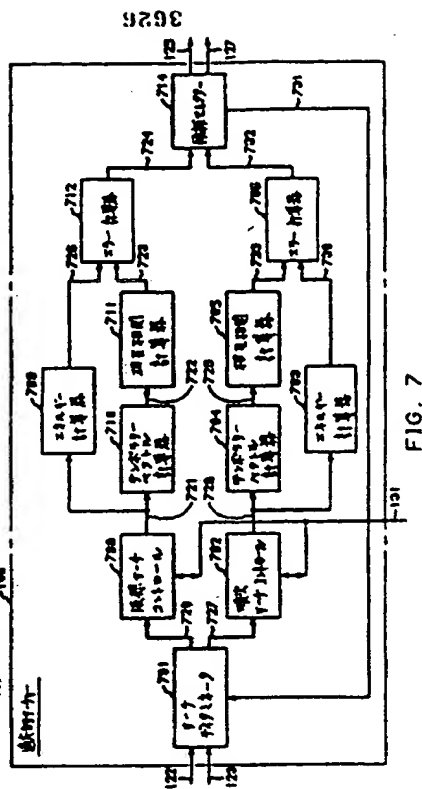


FIG. 7

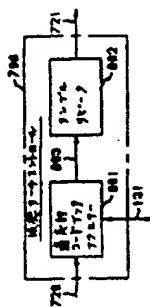
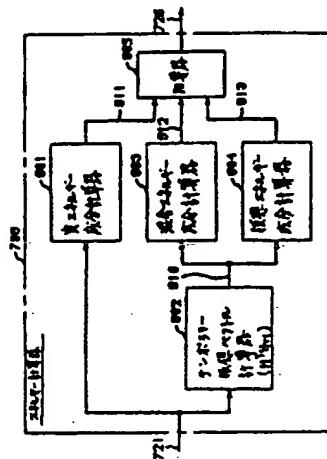


FIG. 8



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)